

CONFORMACION DE HAZ CON REFERENCIA DE ESPECTRO ENSANCHADO

Xavier Oliva , Manel Martínez , Miguel Angel Lagunas
Departamento TSC, Módulo D5
ETSE de Telecomunicación
Apartado 30002, 08080 BARCELONA

ABSTRACT

The multipath propagation is a problem in many communication systems. The adaptive array beamforming is able to reject the interferences when they are decorrelated with the source of information. Therefore, this kind of system is not able to minimise the contributions of correlated signals that come from multipath. One of the applications of the Spread Spectrum signals is to combat the multipath propagation. However, these systems are strongly affected by the near-far problem. Combining spread spectrum signals with adaptive array beamforming results in a more powerful system that rejects interferences, and combats the multipath and the near-far problem.

1 - INTRODUCCION

En muchos sistemas de comunicación, y especialmente en los de comunicaciones móviles, la propagación multicamino puede suponer un grave problema para la correcta recepción de la información. Puede resultar interesante, por lo tanto, diseñar el sistema de modo que se intente combatir este tipo de propagación.

En los años 50 empezaron a desarrollarse sistemas basados en un tipo de señal llamado señal de espectro ensanchado o spread spectrum, principalmente debido al interés militar de sus posibles aplicaciones en sistemas antijamming.

La señal de espectro ensanchado utiliza un ancho de banda mayor del necesario para la transmisión de la información, y este ensanchado se realiza con ayuda de una secuencia pseudoaleatoria. Estas secuencias pseudoaleatorias se generan habitualmente con los llamados "maximal length shift register generators". En la figura 1 puede verse uno de estos generadores, y escogiendo convenientemente los pesos a_i pueden conseguirse secuencias binarias pseudoaleatorias de longitud $L=2^r-1$, donde r es el número de registros de desplazamiento, y que es la longitud máxima alcanzable con r registros.

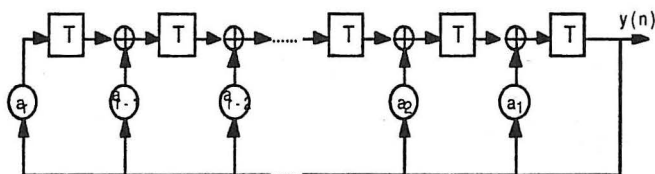


Figura 1 - Maximal length shift register generator

La principal característica interesante de estas secuencias pseudoaleatorias es que su autocorrelación presenta un pico para $\tau=0$, y para valores de $|\tau|>T$, siendo T la anchura de cada bit de la secuencia (acostumbra a denominárseles "chip"), presenta un valor de $-1/L$. Esto puede verse en la figura 2, una gráfica obtenida experimentalmente con un analizador de espectros.

Una de las posibles maneras de utilizar esta secuencia para ensanchar el espectro es realizar una operación OR-exclusiva con la información binaria que se desea transmitir. La señal de información tendrá una anchura de bit mayor a la anchura del chip, pero la relación será variable según el ensanchamiento del espectro que se desee. El resultado de esta operación modulará a su vez a una portadora.

La señal así generada se denomina señal DS (Direct Sequence). Su autocorrelación mantendrá, fundamentalmente, la forma que se presentaba en la figura 2, pero convolucionada con una sinusoide.

A este tipo de señal se le han encontrado múltiples aplicaciones, como el ranging, el rechazo de interferencias, los sistemas antijamming que ya mencionábamos anteriormente, o los sistemas para múltiples usuarios como el CDMA. También se ha visto que puede resultar interesante para combatir el multipath.

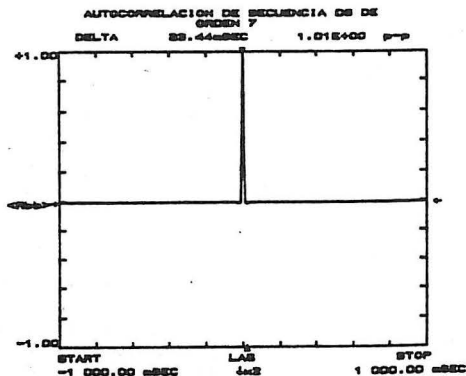


Figura 2 -Autocorrelación de una secuencia pseudoaleatoria

Puede llegarse a esta situación óptima minimizando el cuadrado de la diferencia entre la señal de salida del conformador ($y(n)$) y la señal de referencia ($d(n)$), que más adelante ya veremos cómo se obtiene.

$$E \left[|d(n) - y(n)|^2 \right]_{\text{MIN}} \quad (1)$$

De este modo se obtiene el óptimo del vector de pesos (2) y del error cuadrático (3), llamado óptimo de Wiener, que viene dado por las expresiones siguientes

$$\underline{A}_{\text{opt}} = \underline{R}^{-1} \cdot \underline{P} \quad (2)$$

$$\xi_{\text{MIN}} = r_{dd}(0) - \underline{P}^H \cdot \underline{R}^{-1} \cdot \underline{P} \quad (3)$$

\underline{R} se trata de la matriz de covarianza, y su definición y la del vector \underline{P} es

$$\underline{R} = E \left[\underline{X}_n \cdot \underline{X}_n^H \right] \quad (4)$$

$$\underline{P} = E \left[d^*(n) \cdot \underline{X}_n \right] \quad (5)$$

De este modo, el sistema será capaz de anular eficazmente tantas interferencias como el número de sensores menos uno.

Sin embargo, en caso de aparecer una interferencia que esté fuertemente correlada con la señal, no será capaz de rechazarla. Este problema invalidaría, en principio, a este tipo de sistemas en escenarios degradados por el multipath.

A pesar de ello, si se escogen convenientemente los parámetros de la señal de espectro ensanchado, y se construye un sistema que combine este tipo de señal con la conformación del haz, puede combatirse el multipath y rechazarse eficazmente las interferencias sin que el sistema sea sensible al problema "Near-far".

Sin embargo, son sistemas que tendrán problemas en caso de aparecer una interferencia muy cercana al receptor, es decir, son sensibles al problema "Near-far".

Por otra parte, existe otro tipo de sistemas que combaten eficazmente las interferencias, los sistemas de conformación de haz adaptativos. Los avances en el procesado de la señal aplicados a las agrupaciones o "arrays" de sensores permiten calcular adaptativamente un vector de pesos (\underline{A}), que multiplicado por el vector de datos o snapshot (\underline{X}_n) dará la salida del sistema.

De este modo el sistema puede ir buscando en todo momento acercarse a la situación óptima, minimizando a la salida la contribución de las interferencias y manteniendo al mismo tiempo la de la señal deseada.

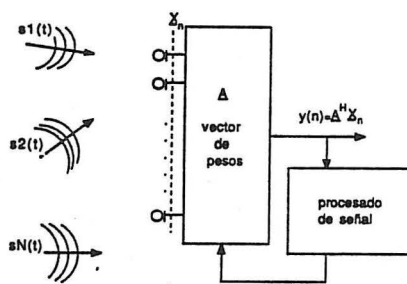


Figura 3 - Conformador de haz

2 - CONCEPCION DEL SISTEMA

El sistema de conformación de haz necesita conocer alguna característica de la señal que desea recibir para poder diferenciarla del resto de señales o interferencias. En el caso de utilizar una señal de espectro ensanchado, la característica necesaria será el conocimiento de la secuencia pseudoaleatoria utilizada para ensanchar el espectro, de modo que pueda generarse localmente en el receptor y utilizarse para regenerar esta señal de referencia. Esta referencia de espectro ensanchado puede contener la información que se desea transmitir, o puede ser sólo una señal de bajo nivel que provenga de la misma dirección que la señal de información. Una posible manera de regenerar la referencia se ilustra en la figura 4, que muestra el llamado "Compton's loop".

Una de las partes más delicadas del sistema es la del sincronismo. Para la señal de espectro ensanchado es conveniente realizar el sincronismo en dos fases diferenciadas: la fase de adquisición, cuando nos hallamos todavía lejos del sincronismo, y la fase de seguimiento, que realiza un ajuste fino del sincronismo cuando ya nos encontramos próximos al perfecto sincronismo.

En la primera fase se deberá variar rápidamente el reloj que controla a la secuencia pseudoaleatoria para alcanzar rápidamente la fase de seguimiento.

En la fase de seguimiento, el cálculo de la correlación cruzada entre la señal recibida y la secuencia pseudoaleatoria para dos valores diferentes de τ permite conocer la dirección en la que debemos movernos para alcanzar el perfecto sincronismo [1, 2, 6, 7, 8].

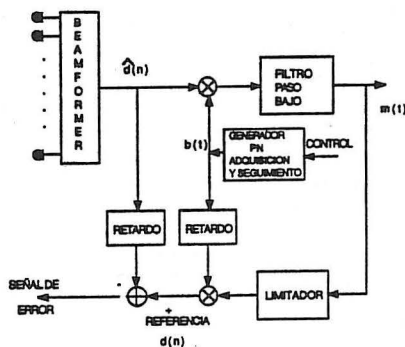
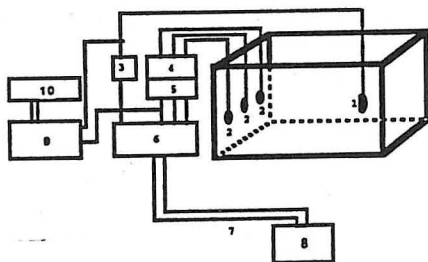


Figura 4 - Compton's loop

La clave del sistema está en que si se han escogido correctamente los parámetros de la señal de espectro ensanchado, y gracias a sus características de autocorrelación, puede conseguirse que los ecos se encuentren decorrelados con la señal proveniente del camino directo, y por lo tanto serán fácilmente discernidos de la señal deseada por el sistema de conformación de haz, y en consecuencia rechazados igual que las interferencias.

Para observar el funcionamiento de un sistema de estas características, presentamos a continuación el comportamiento de un sistema experimental que se ha construido, con un tanque de agua, ondas acústicas que se propagan en el interior del mismo, una agrupación receptora formada por tres sensores, y el hardware indicado en el esquema presentado en la figura 5. En el PC se simula el funcionamiento del sistema de conformación de haz y se controla todo el sistema.



- 1- Hidrófono transmisor
- 2- Hidrófonos receptores
- 3- Amplificador de transmisión
- 4- Amplificadores de recepción
- 5- Filtros receptores antialiasing
- 6- Unidad de adquisición de datos
- 7- Bus bidireccional
- 8- Ordenador (PC)
- 9- Analizador de espectros
- 10- Plotter

Figura 5 - Sistema experimental

En primer lugar, resultará interesante estudiar la respuesta de la piscina, es decir, conocer aproximadamente la cantidad y la magnitud de los ecos. Una de las posibles maneras de hacerlo es aprovechar la señal de espectro ensanchado. Dado que este tipo de señal presenta un pico muy estrecho, si se calcula la correlación cruzada de la señal transmitida con la señal recibida, deberá observarse un pico, correspondiente a la

señal que proviene del camino directo, con un retardo igual al tiempo de propagación de la onda entre el transmisor y el receptor. A continuación, deberán recibirse nuevos picos cada vez que llegue un eco al receptor. Siguiendo este procedimiento en el sistema experimental, se obtiene la gráfica 6, donde se aprecia la gran cantidad de ecos presentes en la piscina.

Un estudio detallado de esta gráfica permite seleccionar los parámetros adecuados para el sistema. Los ecos tardan en aparecer aproximadamente unos 500 μ s, y dejan de presentarse al cabo de unos 20 ó 25 ms. Si se escoge una señal DS de orden 7, es decir, con 7 registros de desplazamiento, el valor de la autocorrelación fuera del pico central será ya de $-1/127$. Si se toma una anchura de chip de 200 μ s, se asegura que los primeros ecos estén decorrelados con la señal. En estas condiciones, el periodo de la secuencia pseudoaleatoria será de 25,4 ms, y esto supone que tampoco los últimos ecos estarán correlados con el siguiente periodo de la señal.

En este sistema se han implementado dos algoritmos adaptativos diferentes para acercarse al óptimo de Wiener: el NLMS y el SQRLS [1, 2, 3, 9].

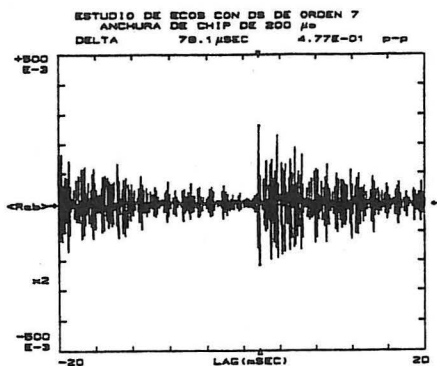


Figura 6 - Respuesta de la piscina

A continuación presentaremos tan sólo un ejemplo del funcionamiento del sistema cuando el algoritmo empleado es el SQRLS, y la señal deseada proviene de la dirección de $12,6^\circ$.

En la figura 7 se puede ver la evolución aproximada de la relación señal a ruido más interferencia. Puede apreciarse como el conformador obtiene una mejora de aproximadamente 4,5 dB, acercándose al valor

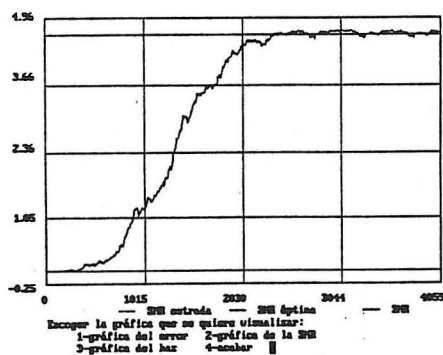


Figura 7 - Evolución de la relación señal a ruido más interferencia

correspondiente al óptimo de Wiener. Este valor viene limitado por el reducido número de sensores y por la gran degradación del escenario. Dado que aparecen ecos en todas las direcciones, en conjunto obligan al sistema a comportarse de manera semejante a cuando se recibe tan sólo ruido no direccional y la señal deseada. En esas circunstancias, es necesario minimizar la respuesta del array en todas las direcciones, y la mejora máxima de la relación señal a ruido es de $10 \log(\text{número de sensores}) = 4,77 \text{ dB}$, valor ligeramente superior a los 4,5 dB que se obtienen.

En la siguiente figura, la número 8, se puede ver también cómo el haz (dibujado cada 1350 snapshots) evoluciona acercándose al óptimo de Wiener y enfocando a la señal deseada.

3 - CONCLUSIONES

La utilización conjunta del procesado de señal aplicado a la conformación de haz adaptativa y la señal de espectro ensanchado permite combatir la propagación multicamino aun en escenarios tremendamente hostiles como el del sistema experimental presentado.

En este sistema se ha obtenido una mejora de la SINR de unos 4,5 dB con tres sensores receptores. Sin embargo, si el escenario no está tan degradado, y se eliminan una (o varias) interferencias localizadas en alguna dirección en concreto del espacio, pueden conseguirse mejoras de decenas de dB. Además, con un número mayor de sensores receptores también se alcanzarían mejoras mayores. Por ejemplo, con 9 sensores ya nos acercaríamos a 10 log 9=9,54 dB.

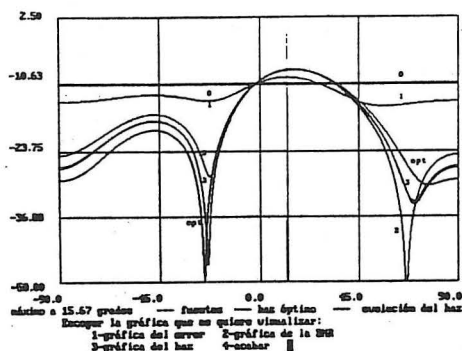


Figura 8 - Evolución del haz

Por último, es interesante destacar que aunque el sistema experimental se haya construido con agua como medio de transmisión, las técnicas descritas no dependen del mismo, y del mismo modo pueden aplicarse a comunicaciones con satélites o comunicaciones móviles como a las comunicaciones submarinas. En la actualidad está en construcción el mismo sistema experimental que se ha presentado, pero sustituyendo por hardware las partes del sistema que en esta primera implementación se han simulado por ordenador.

4 - REFERENCIAS

- [1] M.A.Lagunas: "Notas del Curso de Acústica Submarina y Sonar", Departamento de Teoría de Señal y Comunicaciones, E.T.S.E.T.B., U.P.C.
- [2] X. Oliva Galván: "Conformación de Haz con Referencia de Espectro Ensanchado", PFC, ETSE Telecomunicación, Departamento TSC, Barcelona, Julio 1993.
- [3] M.A.Lagunas: "Adaptive Array Beamforming", Signal Processing IV: Theories and Applications, Proceedings of EUSIPCO-88, Fourth European Signal Processing Conference, Grenoble, Francia, págs. 1079-1087, Septiembre 1988.
- [4] R.A.Monzingo, T.W.Miller: "Introduction to Adaptive Arrays", Wiley-Interscience publication, 1980.
- [5] J.H.Justice, N.L.Owsley, J.L.Yen y A.C.Kak, "Array Signal Processing", Prentice Hall, 1985.
- [6] R.L.Pickholz, D.L.Schilling, L.B.Milstein: "Theory of Spread-Spectrum Communications - A Tutorial", IEEE Transactions on Communications, VOL. COM.-30, NO. 5, págs. 855-884, Mayo 1982.
- [7] G.R.Cooper, C.D.McGille: "Modern Communications and Spread Spectrum", McGraw Hill, 1986, págs. 268-411.
- [8] R.E.Ziemer, R.L.Peterson: "Digital Communications and Spread Spectrum Systems", McMillan, págs. 327-649, 1985.
- [9] B.D.O.Anderson, J.B.Moore: "Optimal Filtering", Prentice-Hall, Electrical Engineering Series, Englewood Cliffs, N.J., 1979.
- [10] R.Illa Gay: "Aplicació i avaluació de tècniques d'alta resolució sobre un canal experimental de sonar passiu", PFC, E.T.S.I.Telecomunicación, Departamento TSC, Barcelona, Mayo 1992.